干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

不同生境芦苇根茎生长发育与根际微环境的比较研究

王 婷[1,2]， 李朝周[1,2]， 焦 健[3]， 芝祥红[1,2]

（1. 甘肃农业大学生命科学技术学院，甘肃 兰州 730070；2. 甘肃省作物遗传改良和种质创新重点实验室，甘肃 兰州 730070；3. 甘肃农业大学林学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要：以临泽县4种生境（沙丘生境、盐渍生境、盐渍-沙丘过渡生境、沼泽生境）芦苇根茎和芦苇根际土壤为研究对象，测定不同生境下芦苇根茎生长发育指标、根际土壤微生物数量及水分、盐分含量，分析了不同生境下根茎生长发育与根际土壤微生物数量、土壤含水量及含盐量的关系。结果表明：（1）对比4种生境下芦苇根茎发育，从盐渍生境，到盐渍-沙丘过渡生境、沙丘生境，再到沼泽生境，根茎节间距呈缩短趋势，而节直径、根茎长度及不定芽数呈增长趋势，根茎含水量和根茎生物量、株高、基径也呈增加趋势。（2）根际土壤微生物数量在4种生境之间差异显著，盐渍生境下芦苇根际土壤真菌数量最多，细菌、放线菌数量最少；沼泽生境芦苇根际土壤真菌数量最少，细菌、放线菌数量最多。（3）相关性分析表明，芦苇根际土壤微生物数量对芦苇根茎数量特征的驱动作用不同。土壤细菌、放线菌数量、B/F值是芦苇根茎长度、根茎节直径、根茎生物量、根茎含水量、株高、基径的主要影响因子，土壤真菌是芦苇根茎节间距的主要影响因子。土壤细菌、真菌、放线菌、B/F是芦苇根茎不定芽数的主要影响因子。土壤细菌、放线菌、B/F值为正向驱动，真菌为负向驱动。

关键词：芦苇；生境；根际；土壤微生物；根茎

土壤中微生物种类繁多，主要参与腐殖质的形成、能量的转化和循环[1]。土壤微生物生长发育的动态过程是寄主植物类型、根系分泌物和植物根系与根际土壤组成的微环境相互作用的结果[2-3]。土壤微生物通过改善土壤微环境，提高养分的有效利用，与植物根系形成共生组织，增强植物抗性，促进寄主植物对养分的吸收，减少病原菌的危害，在植物生长发育中发挥着重要作用[4]。总之，植物根系、土壤和土壤中的微生物相互作用、相互制约，形成动态平衡的生态系统。

芦苇（*Phragmites australis*）是一种典型的根茎型禾本科无性系植物，具有广泛的生态适应性，分布于世界各地[5]。芦苇具有保护土壤、加固堤防、改良土壤的根茎。在异质生境中，为了最大限度地获取和利用生长与繁殖的资源，植株根茎会表现出丰富的可塑性调节，来适应复杂的生境环境。根茎年龄结构、繁殖规律、构件生长规律在不同生境间数量上的大小均有一定的差异，这些差异是植物对其所在不同生境产生的相应地适应性反应，具有较强的生态耐受性、拓展生境的能力和竞争力，其生态可塑性差异较大[6]。根茎宿存于土壤中，其繁殖和生长均要消耗大量养分，而土壤微生物常被用作土壤胁迫过程或生态恢复过程的早期敏感性指标[7]，可改善土壤微环境，提高植物根系、根茎的抗干扰能力。近年来，国内外学者对芦苇研究主要集中在重金属污染[8]、矿质元素分布[9]、渗透调节物质含量[10]、造纸行业及叶片光合生理方面[11]等，而对异质生境芦苇根茎生长发育与根际土壤微环境之间差异及芦苇趋异适应机理的研究鲜有报道。

因此，开展不同生境芦苇根茎数量特征与根际微环境之间的差异研究，分析比较根茎长度、根茎节间距、节直径、根茎生物量、根茎含水量等生境间差异，以及芦苇根际土壤微生物数量的变化规律，籍以揭示不同生境芦苇根茎生长发育的生物学特

收稿日期：2020-05-11； **修订日期：**2020-10-16
基金项目：国家自然科学基金（41967057，31660223）；甘肃省科技厅科技支撑项目（1604NKCA052-3）资助
作者简介：王婷（1994-），女，硕士研究生，主要从事生理学研究. E-mail: 2509842378@qq.com
通讯作者：李朝周. E-mail: licz@gsau.edu.cn

性和生态学意义,可以更好地了解根际微生物对根茎生长发育的影响,这对于维护沙漠-绿洲过渡带生态恢复也可提供土壤微生物方面的参考。对预测生境改变对植物的生长、繁殖以及分布等的影响至关重要,便于更好地解释不同生境芦苇的环境适应机制,对进一步阐释无性系根茎性植物的趋异适应机理具有重要的理论价值,对干旱区、盐碱地、湿地的可持续发展管理具有实践指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为4种生境(沙丘生境、盐渍-沙丘过渡生境、盐渍生境、沼泽生境)下3 a生芦苇及根际土壤。

1.2 试验地概况

试验地位于巴丹吉林沙漠南缘,地处河西走廊中部的甘肃省临泽县,土壤次生盐渍化和沙化严重,生境差异显著。20世纪90年代学者对芦苇做了大量生理生化方面的研究,并在遗传及分子层面明确了芦苇在河西走廊地区不同生态型的分化,分别为湿生芦苇、盐渍-沙丘过渡带芦苇、盐碱芦苇和沙生芦苇[12]。依据土壤水分条件,选择以下4种不同生境(图1):

(1) 沙丘生境:样地选在临泽县廖泉镇湾子村(100°17′E、39°14′N),土壤为沙土,通透性强,排水良好,芦苇多呈零星分布。

(2) 盐渍-沙丘过渡带生境:样地选在廖泉镇湾子村,盐渍地与沙丘交替的生境中,土壤表层有轻微盐碱累积,植被稀疏,多呈小片分布,全年无积水。

(3) 盐渍生境:样地选在临泽县鸭暖镇马莹村(100°05′E、39°33′N),土壤为盐碱土,全年无积水。

(4) 沼泽生境:样地选在临泽县平川镇三一村(100°07′E、39°35′N),土壤为沼泽土,在地势较低洼的水塘,常年无积水或有少量积水。

1.3 试验设计

选取4种生境生长的3 a生芦苇根茎及其根际土,于2019年10初取样。采用5点取样法取根际土壤,取样时先刮去表土,用小铲从四周向中央铲出根茎之间的土壤,铲出一个耕层断面,再平行于断面取土,将5个点取的土样装入塑封袋,贴上标签,

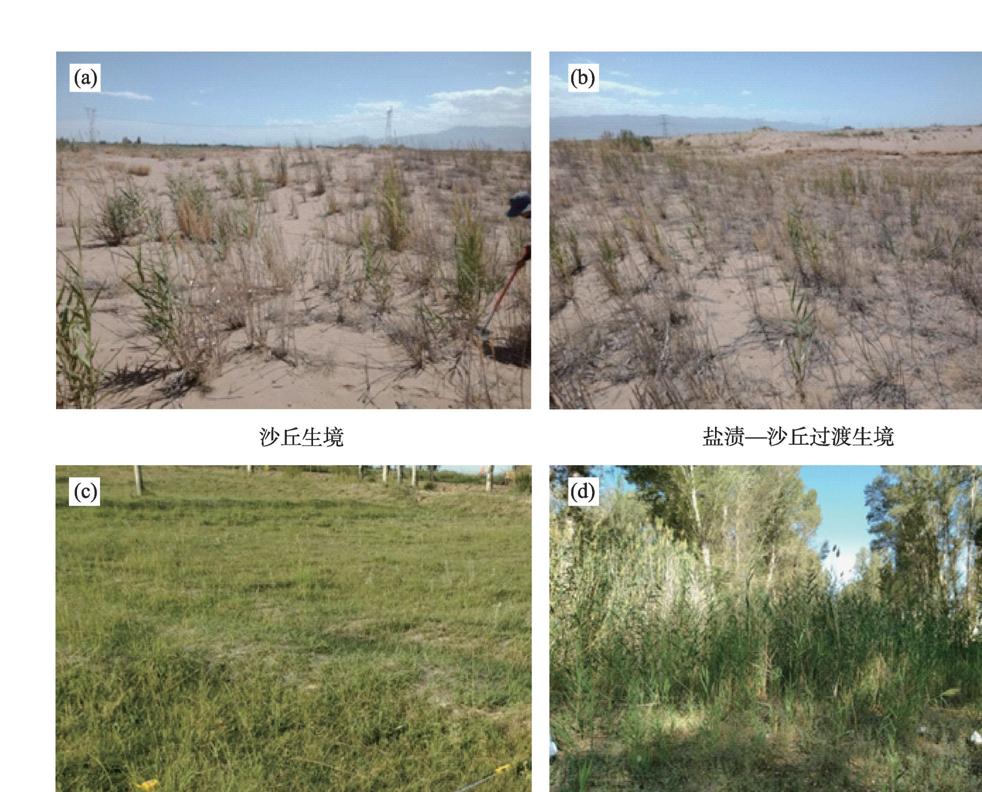


图1 试验样地示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the test sample site

带回实验室,混合过筛后用于测定土壤含水量、微生物数量,风干后测定土壤含盐量。同时跟踪挖掘芦苇根茎,注意保持地上枝条与地下根茎、当年枝条与老枝条残茬、全部根茎与根茎之间、以及根茎与芽之间的自然联系,以便鉴别及测量。

1.4　土壤含盐量、含水量的测定

土壤含盐量的测定采用烘干残渣-质量法,土壤含水率的测定采用烘干法[13]。

1.5　土壤微生物数量测定

土壤细菌采用蛋白质琼脂培养基培养;土壤真菌采用马丁氏培养基培养;土壤放线菌使用高氏培养基培养。微生物数量计算公式:菌数/土重=(同一稀释度*N*次重复的菌落平均数×稀释倍数)/土干重[14]。

1.6　生长发育指标测定

根茎生物量:选取代表性的10株芦苇根茎用去离子水洗净,吸水纸擦干,电子天平称出鲜重;然后将根茎装入牛皮纸袋,105 ℃杀青0.5 h后,75 ℃烘干48 h至恒重,称干重。根茎长度:卷尺测量;根茎节数、不定芽数:以实际观测统计值表示;株高为植株茎最高部位距土面的高度,用卷尺测量;基径:以植株与土面的交界处地上茎直径代表,用游标卡尺测量。

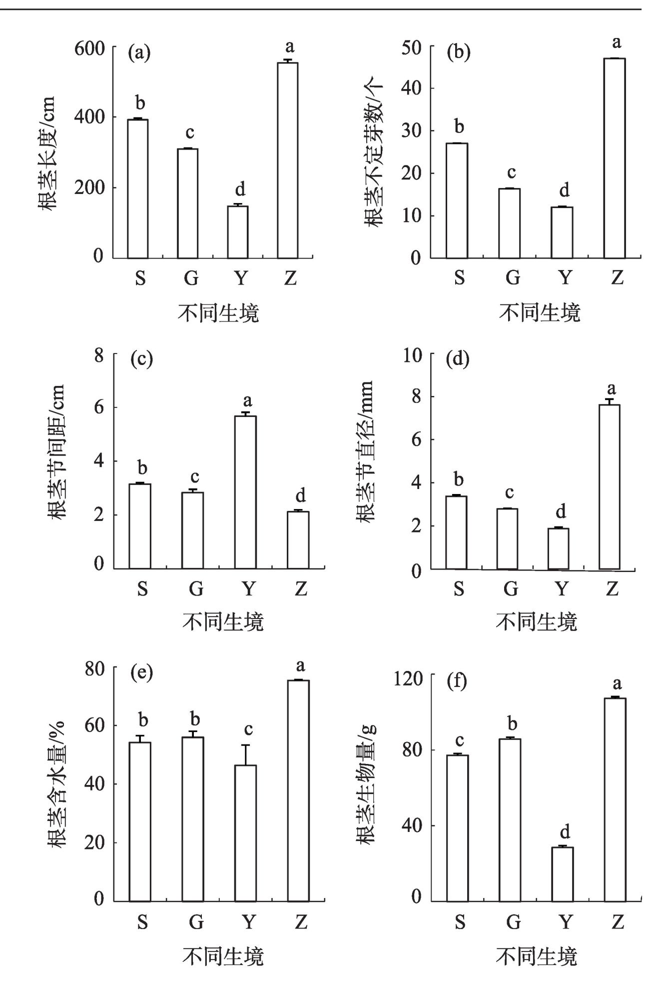
1.7　数据处理

采用Excel 2010软件处理数据并绘图,用SPSS 17.0统计分析软件进行数据差异显著性分析。采用Ducan法进行各指标间差异显著性比较。相关性分析采用两个变量间的相关分析(Bivariate),相关系数采用Pearson系数;通径分析土壤因子与微生物数量的关系。

2　结果分析

2.1　4种生境芦苇根茎生长发育的比较

从图2可以看出,沼泽芦苇根茎最长,根茎长度是沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍生境的1.41倍、1.79倍、3.76倍;根茎不定芽数最多,平均达到47个,是沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍生境的1.74倍、2.88倍、3.92倍;盐渍生境芦苇根茎节间距最大,为5.67 cm,是沙丘、盐渍-沙丘过渡带、沼泽芦苇根茎节间距的1.80倍、2.00倍、2.67倍。沼泽芦苇根茎最粗,盐渍芦苇根茎最细,沼泽芦苇根茎节直径是沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍生境的2.26倍、2.73倍、4.07



注:G表示盐渍-沙丘过渡带生境,S、Y、Z分别表示沙丘生境、盐渍生境、沼泽生境;不同小写字母表示不同生境的数据差异显著($P<0.05$)。下同。

图2　4种生境芦苇根茎生长发育的比较

Fig. 2　Comparison of Rhizome Growth and development of *Phragmites australis* in four habitats

倍。芦苇根茎含水量在沼泽生境下最高(表1),是沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍生境的1.39倍、1.35倍、1.63倍。根茎生物量为沼泽生境下最大,是沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍生境的1.39倍、1.25倍、3.76倍。

表1　4种生境芦苇根际土壤含水量、含盐量

Tab. 1　Water content and salt content of reed rhizospheric soil in four habitats

不同生境	土壤含水量/%	土壤含盐量/(mg·g^{-1})
沙丘生境	11.67±0.30d	0.70±0.10d
盐渍-沙丘过渡生境	16.56±0.33c	2.66±0.03b
盐渍生境	28.21±2.40b	3.33±0.29a
沼泽生境	32.74±1.78a	1.15±0.05c

注:同列的不同小写字母表示不同生境间数据差异显著($P<0.05$)。

2.2 4种生境芦苇地上部分生长发育的比较

沼泽生境芦苇长势最高，平均达到了2.38 m，从沙丘向盐渍过渡，逐渐降低。沼泽生境芦苇株高是沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍生境的1.78倍、2.53倍、7.93倍；基径是沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍生境的1.61倍、2.50倍、4.73倍(图3)。

2.3 芦苇根茎生长发育与土壤微生物的关系

由图4可知，沼泽芦苇相较于沙丘、盐渍-沙丘过渡带及盐渍生境芦苇土壤根际细菌和放线菌数量均有明显增加。芦苇根际土壤细菌数量在沼泽生境中较沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍生境分别高出了16.98%、36.60%、53.59%；芦苇根际土壤放线菌数量较沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍生境分别高出了13.39%、21.50%、48.68%。沼泽生境土壤真菌数量最少，盐渍生境土壤真菌数量最多，沼泽生境土壤真菌数量较沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍生境分别降低了14.29%、57.14%、85.71%。土壤肥力大小可用细菌与真菌的比值(B/F)表示，沼泽、盐渍-沙丘过渡带、沙丘生境B/F值分别为盐渍生境的4.03倍、1.62倍、2.92倍。

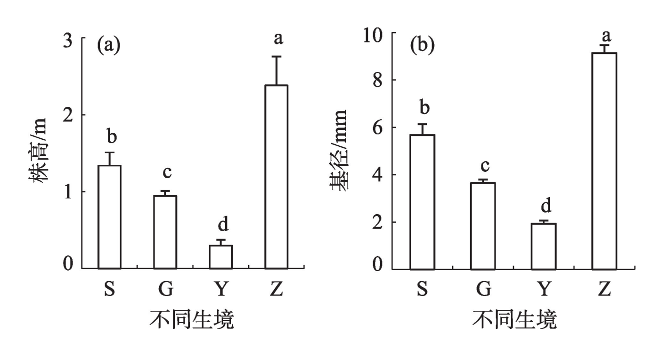


图3 4种生境芦苇地上部分生长发育的比较

Fig. 3 Comparison of growth and development of aboveground parts of reed in four habitats

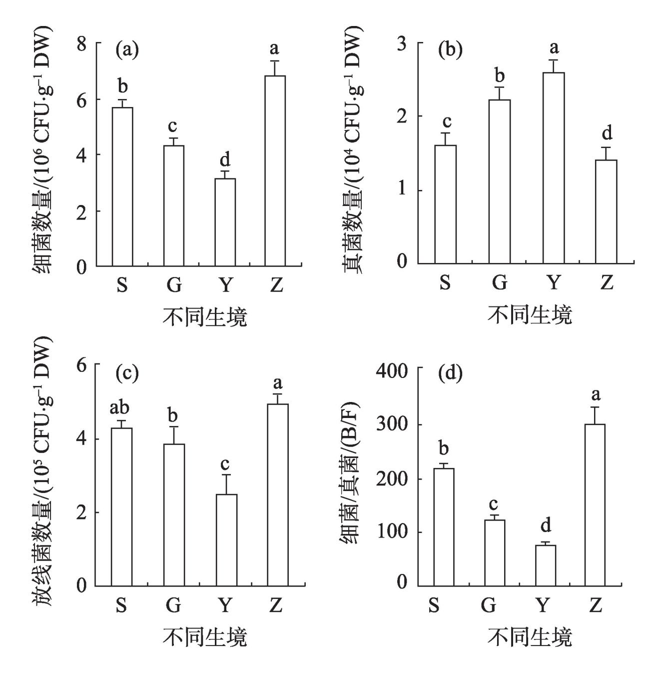


图4 4种生境芦苇根际土壤微生物数量的比较

Fig. 4 Comparison of microbial population in rhizosphere soil of reed in four habitats

由表2可知，芦苇根际土壤微生物数量对芦苇根茎数量特征的驱动作用不同，土壤细菌、放线菌、B/F值是根茎长度、根茎节直径、根茎生物量、根茎含水量、株高、基径的主要影响因子；土壤真菌是芦苇根茎节间距的主要影响因子。土壤细菌、真菌、放线菌、B/F是芦苇根茎不定芽数的主要影响因子。土壤细菌、放线菌、B/F值为正向驱动，真菌为负向驱动。

表2 芦苇生长发育与土壤微生物相关性分析

Tab. 2 Correlation Analysis between growth and development of reed and soil microorganism

类别	细菌数量	真菌数量	放线菌数量	B/F
根茎长度	0.961**	−0.917**	0.930**	0.970**
根茎节直径	0.876**	−0.779**	0.788**	0.933**
根茎节间距	−0.825**	0.795**	−0.905**	−0.777**
根茎不定芽数	0.942**	0.838**	0.842**	0.972**
根茎生物量	0.841**	−0.800**	0.899**	0.802**
根茎含水量	0.848**	−0.742**	0.787**	0.872**
株高	0.949**	−0.907**	0.891**	0.967**
基径	0.951**	−0.913**	0.880**	0.979**

注：*，**分别表示在0.05和0.01水平下相关性显著。

2.4 土壤含盐量、含水量与土壤微生物的通径分析

由表3可知，对根际土壤细菌数量的直接影响中，土壤含水量的直接作用最大，通径系数为0.345，相关系数为0.124，土壤含盐量对土壤细菌数量为负向作用。通过分析各个间接通径系数发现，土壤含盐量通过土壤含水量对土壤细菌的间接作用较大，其间接通径系数为0.081；土壤含盐量对土壤真菌的直接作用最大，通径系数达0.945，相关系数为0.903，土壤含水量通过土壤含盐量对土壤真菌的间接作用也较大，间接通径系数为0.211；土壤含盐量对土壤放线菌为负向作用，通径系数为−0.856，相关系数为−0.808，土壤含盐量通过土壤含水量对土壤放线菌的间接作用较大，间接系数为0.048。

表3　土壤因子与土壤微生物的通径分析

Tab. 3　Path analysis of soil factors and soil microorganisms

	自变量	简单相关系数	直接作用	间接作用	
				土壤含水量	土壤含盐量
细菌数量	土壤含水量	0.124	0.345*		-0.221
	土壤含盐量	-0.862**	-0.943**	0.081	
	自变量	简单相关系数	直接作用	间接作用	
				土壤含水量	土壤含盐量
真菌数量	土壤含水量	0.044	-0.178		0.221
	土壤含盐量	0.903**	0.945**	-0.042	
	自变量	简单相关系数	直接作用	间接作用	
				土壤含水量	土壤含盐量
放线菌数量	土壤含水量	0.005	0.205		-0.200
	土壤含盐量	-0.808**	-0.856**	0.048	

注：**表示变量间线性关系或作用极显著，*表示变量间线性关系或作用显著。

3　讨　论

芦苇天然种群主要依赖根茎繁殖[15]，根茎宿存于土壤中，是植株与无机环境间信息整合的桥梁[16]。研究发现，4种生境芦苇根茎在土体中呈纵横交错分布，沼泽生境芦苇根茎节数和根茎长度显著高于沙丘生境、盐渍-沙丘过渡生境、盐渍生境，这与前人的研究结果一致，即土壤环境条件越好，芦苇根茎越长，节数越多[17]。这是因为根茎是重要的营养贮藏器官，沼泽生境具有良好的养分含量，使得根茎比其他生境储存更多的养分。更多的养分储存进一步促进植物器官的生长和发育，包括根茎的生长发育。根茎芽是无性系植物种群营养繁殖的潜在种群，沼泽芦苇不定芽数是盐渍生境芦苇不定芽数的3.92倍。这说明芦苇在养分含量环境条件较好的沼泽生境有更大的生长繁殖潜力。无性系植物的觅食行为特征之一是在较高的资源水平或较好的生境条件下，其根茎节间较短[18]。本研究发现沼泽芦苇节间距主要集中于2.12 cm左右，盐渍芦苇根茎节间距主要集中于5.67 cm（图1），相较于沙丘、盐渍、沼泽生境芦苇根茎节间距总体表现为缩短的趋势，根茎节间距的缩短有利于分株在营养丰富的生境中生长，提高其竞争力。这与何玉惠等[18]研究结果基本一致，芦苇根茎节间距随环境好转而缩短。以往对根茎生长和生物量的研究也证实这一点，羊草根茎在58.43%的水分处理下节直径最高，在中度水分胁迫下有利于节间距增长，重度和轻度水分胁迫下茎节间距增长缓慢[19]，盐碱胁迫越高羊草根茎长度明显减小[20]。另外，4种生境芦苇根茎节直径以沼泽生境最粗，依次为沙丘生境和盐渍-沙丘过渡生境，盐渍生境最小，即随土壤养分含量提高，含水量升高和含盐量的降低，根茎逐渐将伸长生长转变为增粗生长。根茎生物量则是根茎养分贮量的表征，一般来说，无性系植物对地下部分的投资更多是对逆境的一种适应[21-22]。马俊逸等[23]研究也证实了这一点，即赖草和芦苇是多年生草本，具有下伸的根状茎，秆直立且粗硬，既稍喜湿润，又颇耐干旱、耐寒，适应性较广，能适应盐沼湿地生境。在本研究中，芦苇根茎生物量和根茎含水量在4种生境中差异显著，沼泽生境芦苇根茎含水量、生物量最大，盐渍生境相关含量最小，说明土壤盐渍化对根茎含水量和根茎物质储量有一定的抑制作用。株高、基径是表征植物地上部分生长发育的重要指标。沼泽芦苇由于水分供应良好，表现出植株高大，群丛繁茂，盐渍生境中的土壤含盐量高，而缺乏充足的水分，植株矮小。沙丘生境芦苇植株生长所需的水分完全靠深层地下水维持，因而沙丘芦苇株高低于沼泽芦苇，但沙芦株高和基径远大于盐渍芦苇，其原因是沙丘芦苇没有土壤高盐胁迫。盐渍-沙丘过渡生境土壤含水量介于沙丘和盐渍生境之间，但土壤含盐量却远低于盐渍生境，而高于沙丘生境，反映在形态特征上，过渡带芦苇株高基径介于沙芦和盐渍生境芦苇之间。这与前人研究结果一致。邱天等[24]研究表明，盐胁迫和碱胁迫都对芦苇分株的株高和生物量积累有抑制作用。贡璐等[25]研究发现，土壤水分含量下降，芦苇的株高、盖度和地上生物量均有不同程度的减少。可能是在盐胁迫下和干旱胁迫下，芦苇将活跃的分生组织

生长分裂的能量转移到保持植物渗透平衡中去，从而使得芦苇的生长受到抑制。焦亮等[26]研究也表明，土壤盐分、水分会对盐沼湿地植物芦苇的生长产生较大影响。

植物对生境的适应性不同，其生长分布具有一定的生境偏好[27]。从环境因子来说，沼泽生境和其他3种生境的区别主要是土壤水分含量的显著不同，而造成盐渍、盐渍-沙丘与沙丘生境差异的主导环境因子除了水分差异外，还有土壤含盐量的变化。研究表明，盐渍生境芦苇根际土壤达到了中度盐化水平，盐渍-沙丘过渡带属于轻度盐渍化，而沼泽生境可能因为周围土壤盐碱的冲刷沉积，土壤含盐量也较高。土壤微生物是土壤生态系统中极其重要和最为活跃的部分，极易受到土壤环境因子的影响。周玲玲[7]研究表明，棉田土壤细菌、放线菌数量均随土壤盐分的增加呈现逐渐下降的一致趋势，且土壤水分亏缺加重盐胁迫影响。在盐度对稀释平板法研究红树林区土壤微生物数量的影响的研究中发现高盐度的平板培养基会降低微生物的数量，尤其是放线菌的数量[28]。这与本研究结果基本一致，随土壤含水量的降低和含盐量的升高，土壤细菌、放线菌数量显著减小，且含盐量越高，含水量越少，土壤细菌，放线菌数量减小趋势更大，而真菌数量增多，相应的B/F值也减少。说明盐渍土含盐量高，土壤结构差，微生物缺乏生存的物质基础和环境条件，因此，盐渍土微生物数量普遍较少。

不同环境因子对植物生长的影响存在差异，分析植物对不同土壤因子的适应变化，不仅能够反映植物对环境的适应能力，也能够反映环境条件对植物的影响和饰变程度。对不同生境芦苇根茎生长发育和根际微环境的差异比较，可以发现沼泽生境土壤含水量高，土壤有益细菌、放线菌数量以及B/F值明显增高，微生物可以改善土壤结构，提高土壤肥力，故沼泽生境土壤养分充足，芦苇长势最好。而在沙丘生境、盐渍-沙丘过渡、盐渍生境下，随着土壤水分的减少和土壤含盐量的提高，细菌、放线菌数量减小，根茎节直径、根茎长度、根茎生物量、根茎含水量、根茎节直径、不定芽数、株高、基径都呈不同程度的降低；而土壤真菌数量、根茎节间距呈增大趋势，其中盐渍生境对土壤微生物和根茎生长发育的影响最大。芦苇根茎数量特征及结构的调整对遭受干旱胁迫的沙丘芦苇以及盐渍胁迫的盐渍芦苇和过渡态芦苇均有适应意义，说明芦苇为适应外界环境对自身根茎的形态特征作了相应调整，表现出较强的环境适应力。

4 结 论

芦苇作为荒漠地区的一种优势物种，在沙丘、盐渍-沙丘过渡带、盐渍、沼泽4种生境下，随土壤含水量及含盐量的变化，根际土壤微生物数量差异显著，芦苇根茎数量特征发生了相应的显著变化。环境异质性作为一种选择压力，使得芦苇可形成有效获取必需资源的生态适应对策，而芦苇根茎数量特征和结构的调整能适时存储与释放其生长所需资源，从而缓解异质生境所带来的压力。

参考文献(References)：

[1] 史功赋, 赵小庆, 方静, 等. 土壤微生物在植物生长发育中的作用及应用前景[J]. 北方农业学报, 2019, 47(4): 108–114. [Shi Gongfu, Zhao Xiaoqing, Fang Jing, et al. Research progress on the effects of soil microorganisms on plant growth and development[J]. Journal of Northern Agriculture, 2019, 47(4): 108–114.]

[2] Jin T, Wang Y, Huang Y Y, et al. Taxonomic structure and functional association of foxtail millet root microbiome[J]. GigaScience, 2017, 6(10): 1–12.

[3] Kwak Min Jung, Kong Hyun Gi, Choi Kihyuck, et al. Author Correction: Rhizosphere microbiome structure alters to enable wilt resistance in tomato [J]. Nature Biotechnology, 2018, 36(11): 1117–1118.

[4] Delgado-baquerizo M, Oliverio A M, B REewer T E, et al. A global atlas of the dominant bacteria found in soil[J]. Science, 2018, 359 (6373): 320–325.

[5] 陈默君, 贾慎修. 中国饲用植物[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 253–255. [Chen Mojun, Jia Shenxiu. Chinese Forage Plant [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 253–255.]

[6] 焦德志, 姜秋旭, 曹瑞, 等. 扎龙湿地不同生境芦苇种群根茎数量特征及动态[J]. 生态学报, 2018, 38(10): 3432–3440. [Jiao Dezhi, Jiang Qiuxu, Cao Rui, et al. Quantitative characteristics and dynamics of the rhizome of *Phragmites australis* populations in heterogeneous habitats in the Zhalong Wetland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(10): 3432–3440.]

[7] 周玲玲. 土壤盐分胁迫对棉田土壤微生态的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2010. [Zhou Lingling. Effects of Salinity Stress on Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Room Growth and Cotton Field Soil Micro-Ecology[D]. Nanjing: College of Agronomy Nanjing Agricultural University, 2010.]

[8] 滑丽萍, 华珞, 王学东, 等. 芦苇对白洋淀底泥重金属污染程度的影响效应研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 102–105. [Hua Liping, Hua Luo, Wang Xuedong, et al. Study on effect of reed on heavy metal pollution in sediments of Baiyangdian[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(2): 102–105.]

[9] 陈阳, 王贺, 郝金标, 等. 盐渍生境下两种生态型芦苇的形态结构及矿质元素分布[J]. 土壤学报, 2010, 47(2): 334-340. [Cheng Yang, Wang He, Hao Jingbiao, et al. Morphological structures of two ecotypes of reeds and distributiaon of mineral elements therein in salt-affected habitat[J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(2): 334-340.]

[10] Nibau C, Gibbs D J, Coates J C. Branching out in new directions: The control of root architecture by lateral root formation[J]. New Phytologist, 2008, 179 (3): 595-614.

[11] 李凯辉, 胡玉昆, 王鑫, 等. 不同海拔梯度高寒草地地上生物量与环境因子关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2019-2024. [Li Kaihui, Hu Yukuong, Wang Xin, et al. Relationships between belowground biomass of alpine grassland and environmental factors along an altitude gradient[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(9): 2019-2024.]

[12] 陈国仓, 张承烈. 不同生境芦苇形态特征和茎秆解剖结构的比较研究[J]. 兰州大学学报, 1991, 27(1): 91-98. [Chen Guocang, Zhang Chenglie. Comparative studies on morphological character and anatomical structure of fibre in stalk of four distinct types of *Phragmites* communis trin[J]. Journal of Lanzhou University, 1991, 27(1): 91-98.]

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. [Bao Shidan. Soil Andagricultural Chemistry Analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.]

[14] 李坤. 葡萄连作障碍机理及调控途径的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2010. [Li Kun. Studies on the Mechanism and Control Approaches of Replant Obstacle in Grape[D]. Shengyang: Shengyang Agricultural University, 2010.]

[15] 张熙灵, 王立新, 刘华民, 等. 芦苇、香蒲和藨草3种挺水植物的养分吸收动力学[J]. 生态学报, 2014, 34(9): 2238-2245. [Zhang Xiling, Wang Lixin, Liu Huamin, et al. Kinetics of nutrient uptake by three emergent plants, *Phragmites australis*, *Typha orientalis* and *Scirpus triqueter*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2238-2245.]

[16] 邹元春, 吕宪国, 姜明. 湿地克隆植物根茎对变境适应的表型可塑性[J]. 湿地科学, 2007, 5(4): 305-310. [Zou Yuanchun, Lyu Xianguo, Jiang Ming. Adaptive phenotypic plasticity of clonal plant rhizomes in wetlands[J]. Wetland Science, 2007, 5(4): 305-310.]

[17] Scordial D, Zanetti F, Varga S, et. al. New insights into the propagation methods of Switchgrass, Miscanthus and Giant Reed[J]. Bioenegy Research, 2015, 8(4): 1-12.

[18] 何玉惠, 赵哈林, 刘新平, 等. 科尔沁沙地典型生境下芦苇的生长特征分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(2): 288-292. [He Yuhui, Zhao Haling, Liu Xingping, et al. Growth characteristics of *Phragmites australis* in typical habitats of horqin sandy land[J]. Journal of Desert Research, 2009, 29(2): 288-292.]

[19] 刘滨硕, 康春莉, 李忠民, 等. 不同盐碱梯度生境下羊草根茎生长的研究[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2013, 45(3): 110-114. [Liu Binshou, Kang Chunli, Li Zhongming, et al. The effects of different alkali-saline stress on the growth of rhizome of *Leymus chinensis*[J]. Journal of Northeast Normal University(Natural Science Edition) , 2013, 45(3): 110-114.]

[20] 叶学华, 胡宇坤, 刘志兰, 等. 水分异质性影响两种根茎型克隆植物赖草和假苇拂子茅的水分存储力[J]. 植物生态学报, 2013, 37(5): 427-435. [Ye Xuehua, Hu Yukun, Liu Zhilan, et al. Water heterogeneous affects water storage in two rhizomatous clonal plants *Leymus secalinus* and *Calamagrostis pseudophragmites*[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2013, 37(5): 427-435.]

[21] 满达. 差不嘎蒿种子萌发及苗期抗旱生理特性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017. [Man Da. Research on Seed Germinatiao and Drought Resistance Physiological Characteristics in Seeding Stage of *Artemisia halodendron*[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017.]

[22] 古丽娜尔·哈里别克. 于田绿洲土壤盐分对芦苇生长的影响研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2012. [Gulinar Haribek. The Soil Salinity Effects on the Growth of *Phragmites australis* in Yutian Oasis [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2012.]

[23] 马俊逸, 赵成章, 苟芳珍, 等. 盐沼湿地植物的群落分类及其空间分布格局对土壤水盐的响应[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1001-1008. [Ma Junyi, Zhao Chengzhang, Gou Fangzhen, et al. Response of spatial distribution and community types of wetland plants to soil moisture and salinity in the salt marsh[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(4): 1001-1008.]

[24] 邱天, 鞠淼, 徐嘉哼, 等. 芦苇生长与物质生产对盐碱胁迫的可塑性响应[J]. 东北师大学报(自然科学 版), 2013, 45(1): 109-112. [Qiu Tian, Ju Miao, Xu Jianing, et al. Plastic response of *Phragmites australis* under salt or alkali stress in growth and biomass[J]. Journal of Northeast Normal University(Natural Science Edition), 2013, 45(1): 109-112.]

[25] 贡璐, 朱美玲, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 塔里木盆地南缘旱生芦苇生态特征与水盐因子关系[J]. 生态学报, 2014, 34(10): 2510-2518. [Gong Lu, Zhu Meiling, Tashpolat Tiyip, et al. Ecological characteristics of *Phragmites australis* and their relationship to watersalt indicators in dry habitats of the southern marginal zones of the Tarim Basin, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(10): 2510-2518.]

[26] 焦亮, 关雪, 刘雪蕊, 等. 内陆河湿地芦苇叶功能性状特征及其对土壤环境因子的响应[J]. 干旱区研究, 2020, 37(1): 202-211. [Jiao Liang, Guan Xue, Liu Xuerui, et al. Functional traits of *Phragmites australis* leaves and response to soil environmental factors in inland river wetland[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(1): 202-211.]

[27] 郝珉辉, 张忠辉, 赵珊珊, 等. 吉林蛟河针阔混交林树木生长与生境的关联性[J]. 生态学报, 2017, 37(10): 3437-3444. [Hao Minhui, Zhang Zhonghui, Zhao Shanshan, et al. Habitat associations of tree growth in a coniferous and broad-leaved mixed forest in Jiaohe, Jilin Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): 3437-3444.]

[28] 张瑜斌, 林鹏, 魏小勇, 等. 盐度对稀释平板法研究红树林区土壤微生物数量的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1287-1297. [Zhang Yubing, Ling Peng, Wei Xiaoyong, et al. Effect of salinity on microbial densities of soil in the dilution plate technique applied in mangrove areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 1287-1297.]

Comparative study on the reed rhizospheric microenvironment and reed rhizome growth and development in different habitats

WANG Ting[1,2], LI Chaozhou[1,2], JIAO Jian[3], ZHI Xianghong[1,2]

(1. College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China;

2. Gansu Key Laboratory of Crop Genetics and Germplasm Enhancement, Lanzhou 730070, Gansu, China;

3. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: Comparative study on the reed rhizospheric microenvironment and reed rhizome growth and development in four different habitats were reported in this paper. The rhizome and reed rhizospheric soil in four habitats (sand dune habitat, transitional habitat from saline to sand dune, saline habitat, marsh habitat) were studied in Linze County. Relevant indicators, such as the growth and development indexes of the reed rhizome, quantity of microorganisms, soil water, and soil salt content, were determined in the rhizospheric soil of different habitats. Based on the analysis, the relationship between the growth and development of the rhizome and the quantity of microorganisms, water content, and salt content in rhizospheric soil in different habitats was elucidated. The results showed that: (1) There were significant differences in the biomass of the reed rhizome among the four habitats, among which the internodal length was largest in the four habitats. The pitch diameter, biomass, water content, and length of the rhizome as well as the number of adventitious buds were smallest under the salt habitat, which showed that the growth of the reed rhizome was inhibited by saline soil. Compared with the development of the rhizome in four habitats, from salt habitat to salt-dune transition habitat to sand dune habitat, and then to marsh habitat, which were manifested as a shortening trend of internodal length, thickening trend of pitch diameter, and increasing trend of rhizome length, adventitious bud number, rhizome water content, and rhizome biomass. (2) There were significant differences in the number of rhizospheric soil microorganisms among the four habitats; the highest salt content of reed rhizospheric soil, largest number of soil fungi, and smallest number of bacteria and actinomycetes were found in the salt habitat. The smallest number of fungi and the largest number of bacteria and actinomycetes existed in the marsh habitat. (3) A correlation analysis showed that the number of soil microorganisms in the reed rhizosphere had different driving effects on the number characteristics of reed rhizomes. The number of soil bacteria, actinomycetes, and B/F value are the main influencing factors of the reed rhizome length, rhizome node diameter, rhizome biomass, rhizome water content, plant height, and base diameter. Soil fungi are the main influencing factors of reed rhizome node spacing. Soil bacteria, fungi, actinomycetes, and B/F were the main factors affecting the number of adventitious buds. Soil bacteria, actinomycetes, and B/F value were positive driving factors, whereas fungi were negative driving factors. The oil water content has the greatest direct effect on the number of soil bacteria in the rhizosphere, and the soil salt content has a negative direct effect on the number of soil bacteria. Soil salinity has an indirect effect on soil bacteria through the soil water content. Soil salinity has the greatest direct effect on soil fungi, and soil water content has a greater indirect effect on soil fungi through soil salinity. It has a negative direct effect on soil actinomycetes, and the soil salt content has a greater indirect effect on soil actinomycetes through the soil water content.

Keywords: *Phragmites australis*; reed habitat; rhizosphere; soil microorganism; rhizome